

МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА И АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПИД-РЕГУЛЯТОРА

М. Шейх Эль Нажжарин¹, Сеньков А.Г.²

¹БНТУ, Минск, Республика Беларусь, *mohamednajjarin@yandex.ru*;

²БГАТУ, Минск, Республика Беларусь, *sencov_1981@tut.by*

В работе на примере системы автоматического регулирования температуры в помещении показана возможность использования пакета компьютерного моделирования Simulink для решения задач идентификации, моделирования и синтеза систем автоматического управления.

In the paper is considered a system of automatic control of the temperature in a room and is shown a method of its' synthesis by using components of Simulink software package.

В связи с повсеместным развитием современных компьютерных технологий существенно изменились подходы к решению задач анализа и синтеза систем автоматики. Прикладные пакеты MATLAB, DesignLab, WorkBanch, VisSim и др., используемые для исследования и проектирования электромеханических систем, позволили качественно изменить и существенно расширить возможности инженера.

В качестве примера использования системы компьютерной математики (СКМ) Matlab для моделирования, анализа и синтеза объектов и систем автоматики рассмотрим задачу синтеза системы автоматического регулирования (САР) температуры воздуха в помещении, в роли которого может использоваться учебный сушильный шкаф типа ШСУ, имеющий объем сушильной камеры 10 л и максимальную температуру нагрева 150 °С. Структурная схема САР изображена на рисунке 1.

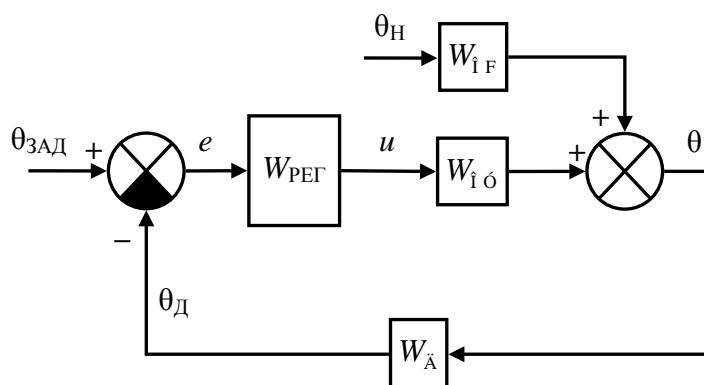


Рисунок 1 – Структурная схема САР температуры воздуха в помещении:
 θ – управляемая величина (температура); $\theta_{\text{д}}$ – значение температуры, измеряемое датчиком; $\theta_{\text{зад}}$ – заданное (требуемое) значение температуры; e – ошибка регулирования; u – управляющее воздействие регулятора на объект управления (ОУ); $\theta_{\text{Н}}$ – возмущающее воздействие на ОУ (температура снаружи); $W_{\text{ОУ}}$ – передаточная функция ОУ по управляющему воздействию; $W_{\text{ОУ}}$ – передаточная функция ОУ по возмущающему воздействию; $W_{\text{Д}}$ – передаточная функция датчика; $W_{\text{РЕГ}}$ – передаточная функция регулятора

Для синтеза САР с типовым законом регулирования необходимо иметь математическое описание составляющих ее элементов (звеньев).

Получим теоретическим путем математическую модель помещения как объекта управления. Значение температуры воздуха в помещении θ зависит от двух величин: мощности работающего электронагревателя P и температуры наружного воздуха $\theta_{\text{Н}}$. В данном случае для упрощения последующих рассуждений мы будем пренебрегать другими

обстоятельствами, которые могут влиять на температуру в помещении, такими, например, как уровень солнечного освещения или скорость ветра снаружи. Для получения математической формулы, отражающей эту зависимость, будем руководствоваться сведениями из области теплофизики и теплообмена. В процессе нагрева помещения одна часть тепловой мощности электронагревателя P_1 расходуется на увеличение температуры в помещении, а другая часть P_2 – рассеивается наружу путем теплопередачи через стены. Соответствующие математические формулы имеют следующий вид:

$$P_1 = c \cdot \frac{d\theta}{dt}, \quad (1)$$

$$P_2 = \frac{S \cdot \kappa}{l} \cdot (\theta - \theta_f), \quad (2)$$

где c [Дж/°С] – теплоемкость помещения;
 S [м²] – площадь стен;
 κ [Вт/(м·°С)] – коэффициент теплопроводности стен (зависит от материала стен);
 l [м] – толщина стен.

Учитывая, что сумма обеих мощностей равна мощности электронагревателя, получим:

$$c \cdot \frac{d\theta}{dt} + \frac{S \cdot \kappa}{l} \cdot (\theta - \theta_f) = P.$$

Преобразуем эту формулу таким образом, чтобы все члены, содержащие выходную величину (температура θ), располагались в левой части уравнения, а входные величины (P и θ_f) – в правой части, получим в итоге математическое описание рассматриваемого объекта управления:

$$T \cdot \frac{d\theta}{dt} + \theta = K \cdot P + \theta_f, \quad (3)$$

где $T = \frac{c \cdot l}{S \cdot \kappa}$ [с.] – постоянная времени;

$K = \frac{l}{S \cdot \kappa}$ [°С/Вт] – коэффициент преобразования.

Данное уравнение является линейным дифференциальным уравнением 1-го порядка. Передаточные функции ОУ по управляющему и возмущающему воздействиям, соответственно, равны:

$$W_{i\phi}(s) = \frac{K}{T \cdot s + 1}, \quad (4)$$

$$W_{iF}(s) = \frac{1}{T \cdot s + 1}. \quad (5)$$

Также теоретическим путем достаточно легко получить математическую модель датчика температуры, в качестве которого в нашем случае используется термосопротивление. Если такой датчик поместить в среду с некоторой температурой θ , отличной θ_d , то будет происходить теплообмен между чувствительным элементом датчика и окружающей средой, в результате чего температура датчика будет стремиться к температуре среды, при этом, соответственно, будет меняться и его сопротивление. Математически этот процесс будет описываться следующими формулами:

$$dQ = \kappa_{\bar{A}} \cdot (\theta - \theta_{\bar{A}}) \cdot dt, \quad (6)$$

$$dQ = c_{\bar{A}} \cdot d\theta_{\bar{A}}, \quad (7)$$

где dQ [Дж] – количество теплоты, переданное от окружающей среды датчику за малый промежуток времени dt ;

θ_d [°С] – температура чувствительного элемента датчика;

κ_d [Дж/(°С·с)] – некоторый постоянный коэффициент, характеризующий теплопроводность чувствительного элемента датчика;

c_D [Дж/°С] – теплоемкость чувствительного элемента датчика (зависит от его массы и удельной теплоемкости металла).

Приравняв выражения (6) и (7), получим:

$$T_{\dot{\theta}} \cdot \frac{d\theta_{\dot{\theta}}}{dt} + \theta_{\dot{\theta}} = \theta, \quad (8)$$

где $T_{\dot{\theta}} = \frac{c_{\dot{\theta}}}{k_{\dot{\theta}}}$ [с.] – постоянная времени датчика.

Передаточная функция датчика равна:

$$W_{\dot{\theta}}(s) = \frac{1}{T_{\dot{\theta}} \cdot s + 1}. \quad (9)$$

В нашем случае для измерения температуры использовалось термосопротивление Pt1000, для которого значение постоянной времени может быть определено из паспортной документации и составляет приблизительно $T_{\dot{\theta}} \approx 20$ с.

Теоретический способ получения математической модели объекта в данном случае имеет тот недостаток, что с его помощью весьма затруднительно точно определить конкретные числовые значения входящих в выражения (3) – (5) коэффициентов K , T , так как они зависят от многих факторов (площадь и высота помещения, толщина и материал стен и т.д.) Поэтому в данной работе использовался смешанный способ получения математической модели объекта: структура модели (вид уравнения, связывающего вход и выход звена) определялась теоретическим путем, а значения коэффициентов – путем идентификации.

На вход объекта подавалось ступенчатое воздействие: электрический нагревательный элемент был включен, при этом значение выделяемой на нем тепловой мощности было постоянным и равнялось 100 Вт. Температура воздуха в сушильной камере каждые 3 с. измерялась термосопротивлением, подключенным к измерителю типа «Сосна-003МД», данные измерений передавались в компьютер. Для обработки результатов измерений и решения задачи идентификации использовались инструменты библиотеки System Identification, входящей в состав пакета Simulink. В качестве структуры модели объекта была выбрана модель типа «вход-выход» (по английски «Output-Error», сокращенно ОЕ) [1], апериодическое звено 1-го порядка.

В результате была определена передаточная функция объекта управления по управляющему воздействию (рис. 2). Она оказалась равной:

$$W_1(s) = \frac{K}{(T_1 \cdot s + 1)}, \quad (10)$$

где $K \approx 0.78$ [°С/Вт]; $T_1 \approx 502$ с.

Для более точного совпадения экспериментальной и расчетной кривых структура модели в Simulink была задана также в виде апериодического звена 2-го порядка. Были получены следующие результаты расчета:

$$W_2(s) = \frac{K}{(T_3 \cdot s + 1)(T_4 \cdot s + 1)}, \quad (11)$$

где $K \approx 0.78$ [°С/Вт]; $T_3 \approx 391$ с.; $T_4 \approx 98$ с.

В качестве меры оценки точности идентификации использовалось максимальное по модулю отклонение расчетной кривой от экспериментальной:

$$\Delta = \max_t |\theta(t) - \theta_{\text{ЭФН}}(t)|. \quad (12)$$

Были получены следующие значения: $\Delta_1 = 9.9$ °С – для апериодического звена 1-го порядка, $\Delta_2 = 1.9$ °С – для апериодического звена 2-го порядка. Лучшая точность аппроксимации объекта с помощью апериодического звена 2-го порядка может объясняться тем, что передаточная функция (11) на самом деле является произведением передаточных

функций двух последовательно соединенных звеньев: объекта управления (сушильного шкафа) и датчика температуры:

$$W_2(s) = W_{\text{IO}}(s) \cdot W_{\text{A}}(s). \quad (13)$$

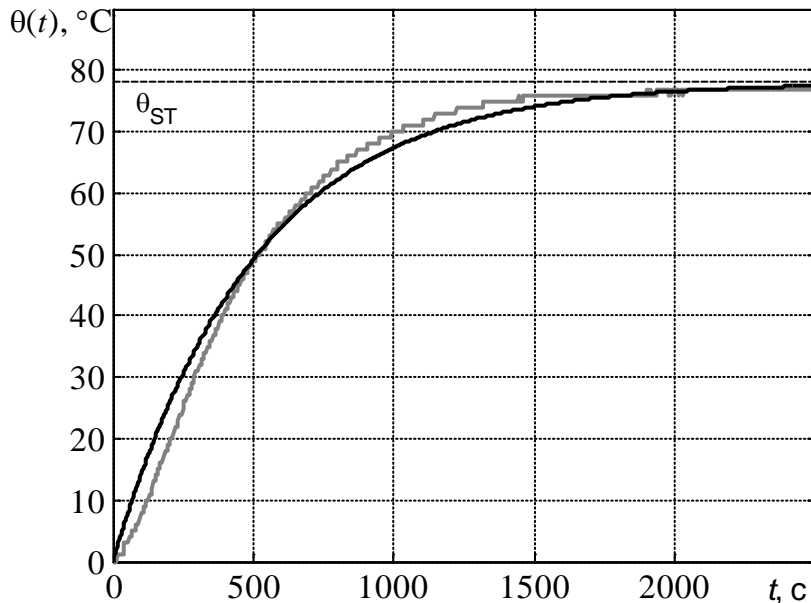


Рисунок 2 – График переходной функции объекта управления: кривая серого цвета – экспериментальная, кривая черного цвета - расчетная

Таким образом, из (13) можно выразить передаточную функцию объекта управления по управляющему воздействию:

$$W_{\text{IO}}(s) = \frac{W_2(s)}{W_{\text{A}}(s)} = \frac{K \cdot (T_{\text{A}} \cdot s + 1)}{(T_3 \cdot s + 1)(T_4 \cdot s + 1)}. \quad (14)$$

Задача синтеза САР на основе ПИД-регулятора состоит в определении значений коэффициентов K_p , K_I и K_d , при которых обеспечивается требуемое качество регулирования САР. Для настройки коэффициентов ПИД-регулятора используем входящий в состав Simulink компонент NCD Outport, реализующий графический интерфейс для настройки параметров динамических систем. Simulink-модель рассматриваемой системы показана на рис. 3.

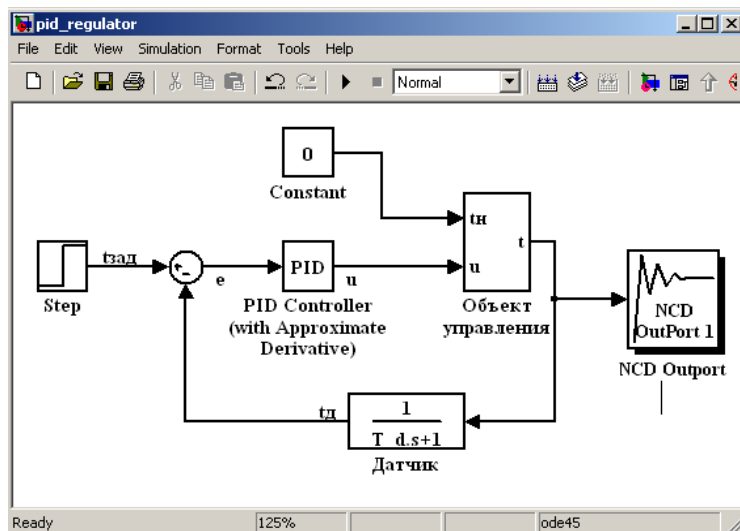


Рисунок 3 – Созданная в Simulink динамическая модель САР температуры в помещении

В качестве устройства управления в данной схеме используется компонент PID Controller (with Approximate Derivative), представляющий собой модель реального ПИД-регулятора. Ограничения, задаваемые для коэффициентов ПИД-регулятора, обусловлены соображениями конечной величины управляющего воздействия u :

$$\begin{aligned} 0 \leq K_p &\leq 10, \\ 0 \leq K_I &\leq 0.5, \\ 0 \leq K_d &\leq 0.1. \end{aligned} \quad (15)$$

Требуемые показатели качества регулирования: нулевая статическая ошибка $e_{\text{НО}} = 0$; перерегулирование $\sigma \leq 20\%$; время регулирования $t_{\text{Д\AA\AA}} \leq 720$ с.

В результате получены следующие значения коэффициентов ПИД-регулятора: $K_p = 3.6182$; $K_I = 0.0095$; $K_d = 0.01$. Вид переходного процесса САР по задающему воздействию показан на рис. 4.

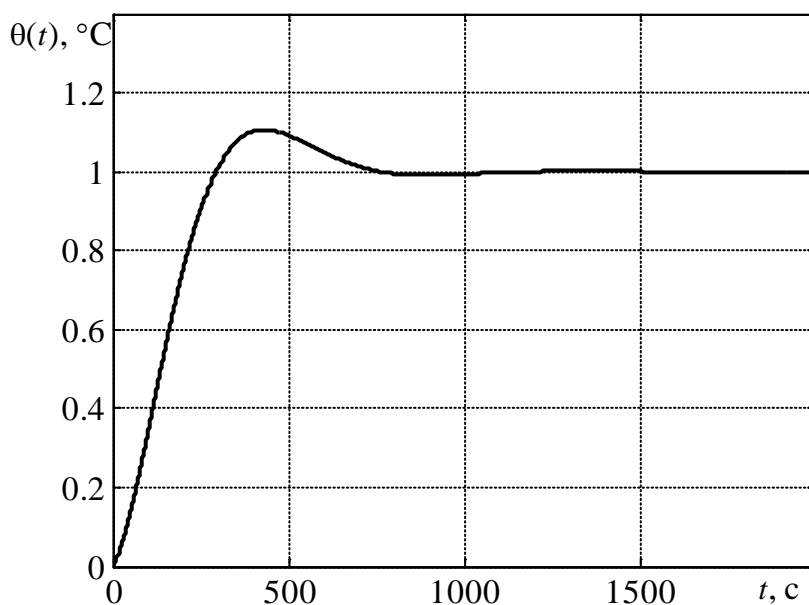


Рисунок 4 – Переходная функция САР по задающему воздействию при полученных в результате настройки значениях коэффициентов ПИД-регулятора

Таким образом, СКМ Matlab и входящий в ее состав пакет моделирования Simulink предоставляют инженеру достаточно широкие возможности и удобные средства моделирования работы и синтеза систем автоматического управления динамическими объектами.

Литература

1. Дьяконов В., Круглов В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. – СПб: - Питер, 2001.